

XI-056 - PRODUÇÃO DE BIOMETANO DE BIOGÁS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: IMPLANTAÇÃO DO PROJETO E RESULTADOS PRELIMINARES

Rosane Ebert Miki⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria – RS em 1988. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP / São Paulo / SP em 1992. Engenheira da Sabesp desde 1994. Coordenadora de Pesquisa e Desenvolvimento, de 1997 a 1999. Gerente de Operação e Manutenção de ETEs de 1999 a 2006. Atualmente, Engenheira do Deptº de Prospecção Tecnológica e Propriedade Intelectual-TXP, da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação-TX.

Luciano Reami⁽²⁾

Engenheiro Civil, Doutor pela FEC - Unicamp, Professor do Centro Paula Souza e Gerente do Setor de Tratamento de Esgoto da Sabesp de Franca.

Marcos Marcelino de Andrade Cason⁽³⁾

Engenheiro Eletricista pela Unesp, Engenheiro de Manutenção do Setor de Tratamento de Esgotos da Sabesp Franca.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - Brasil – CEP: 05429-000. Tel.: +55 (11) 33889543 - Fax: +55(11) 33888695 - e-mail: rebert@sabesp.com.br

RESUMO

Em 05 de abril de 2018 foi inaugurada o Sistema de Beneficiamento de Biogás na Estação de Tratamento de Esgoto de Franca – ETE Franca, da Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). O projeto é fruto de um trabalho de cooperação técnica entre Sabesp e o Instituto Fraunhofer de Stuttgart, da Alemanha. A planta opera em modo automático e possuem sensores para acompanhamento da qualidade do biometano, como metano e dióxido de carbono, além do ponto de orvalho e vazão, dentre outros parâmetros. O biometano está sendo utilizado para abastecimento de uma frota de 18 veículos da Sabesp, no posto instalado na ETE. Na fase inicial de pesquisa, que compreende um período de dois anos, pretende-se usar em torno de 10-15% do potencial de produção de 1.500 Nm³/dia. Pelos resultados apurados de composição do biometano, com base nos monitoramentos em linha e resultados preliminares de caracterização em laboratório, estes estão de acordo com o regulamento da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis – ANP. O projeto em plena operação mostra que em todas as aplicações, tanto os veículos da frota quanto um ônibus urbano testado, que os resultados de desempenho são satisfatórios. Os benefícios imediatos do projeto são o acesso à inovação tecnológica e capacitação, economia com recebimento dos equipamentos doados, assistência técnica especializada da equipe Fraunhofer e substituição do combustível por biometano, em parte da frota de Franca, e ganhos ambientais, com redução da emissão de gases de efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE: Biometano, Uso veicular, Avaliação.

INTRODUÇÃO

Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) recentemente classificou o biometano como um biocombustível avançado, reconhecendo-o como renovável e de baixo carbono e uma oportunidade de reduzir consideravelmente a emissão de Gases Efeito Estufa (GEE) (adaptado de EPA, 2016).

A tecnologia de motores a gás natural já está bem estabelecida e milhões de veículos estão em operação em todo o mundo. Um dos benefícios esperados do uso de gás natural e biometano em aplicações de transporte é a redução de poluentes atmosféricos, especificamente óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (PM) (Kollamthod, S. et al., 2016).

Para a aproveitar este potencial e usar o biogás, que tem sido queimado em flare, a Companhia de Saneamento Básico do Estado -Sabesp, em parceria com Instituto Fraunhofer, desenvolveu um projeto de beneficiamento de biogás para produção de biometano para uso veicular. O projeto de cooperação técnica foi desenvolvido e

implantado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Franca. Esta ETE trata atualmente 470 litros/segundo de esgoto e produz em torno de 2.600 Nm³/dia de biogás nos seus digestores anaeróbios de lodo (sendo 60% de metano).

Uma das principais características do biometano, como combustível, é o seu poder calorífico, que é a quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma quantidade do mesmo. Para uso veicular, além do poder calorífico, o biometano deve atender a outras características, em termos de composição, cuja frequência de amostragem, tipo análise e limites consta na resolução Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - ANP 685/2017, que estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade para comercialização do biometano, seja para concessionária de gás canalizado e/ou postos de combustível.

O custo de implantação do projeto foi da ordem de R\$ 7.377.639,46, sendo a maior parte recurso externo, do BMUB (do Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza, Construção e Segurança Nuclear da Alemanha) através do Instituto Fraunhofer, com a doação dos equipamentos do sistema de beneficiamento e a prestação de assistência técnica especializada. Ficou a cargo da Sabesp o processo de nacionalização dos equipamentos, a realização das obras de infraestrutura para implantação do projeto e as providências das licenças dos órgãos reguladores.

Neste trabalho pretende-se abordar as etapas o projeto de beneficiamento de Franca, desde a concepção até a fase atual de operação, apresentando os resultados atuais e o planejamento do monitoramento do produto biometano e as oportunidades de uso e ou comercialização deste.

OBJETIVO

Apresentar projeto de beneficiamento de biogás implantado na ETE Franca, demonstrando os resultados iniciais de operação de funcionamento sistema e de qualidade do biometano, bem como de seu uso em veículos da frota cativa e as providências que estão sendo tomadas para obtenção do certificado de qualidade do produto biometano.

Descrição do Projeto de Beneficiamento de Biogás

Para concepção do sistema beneficiamento de biogás foram considerados dados medidos de vazão e caracterização do biogás dos digestores da ETE, como concentrações de CH₄, CO₂ e H₂S. Os resultados do monitoramento de biogás dos digestores da ETE, na época, para CH₄ e CO₂ variaram de 70 a 75% e de 25 a 30%, respectivamente e de H₂S, manteve-se abaixo de 50 ppm, razão pela qual o biogás pode ser tratado diretamente com carvão ativado, sem necessidade de tratamento prévio de remoção de H₂S. As análises de siloxanos e halogenados, na época, ainda estavam sendo validadas em norma.

O sistema de implantado na ETE Franca tem capacidade de tratar 2.880 Nm³/dia de biogás (120 Nm³/h). Considerando uma concentração mínima 60% de metano no biogás, esta planta é capaz de produzir até 1.700 Nm³/dia de biometano (72 Nm³/h), com teor em torno de 97% de metano, que equivalente a um potencial de substituição de 1.700 litros de gasolina comum por dia.

No croqui da Figura 1 mostra a unidade de beneficiamento, interligada à unidade aos biodigestores (existentes) através de um reservatório de biogás e da nova linha de biogás e os queimadores do tipo flare já existentes. O sistema de beneficiamento é composto pelo reservatório de biogás, trocador de calor, unidade de beneficiamento, sistema de compressão, armazenamento e abastecimento de biometano. O biogás vem dos digestores, passa pelo soprador radial, instalado na linha para garantir a pressão na linha e alimenta o reservatório de biogás, de dupla membrana, com capacidade de armazenamento de 1.040 m³, de onde é aspirado à pressão atmosférica e entra no contêiner. Tanto os reservatórios de biogás, como o trocador de calor, estão instalados na parte externa à unidade de beneficiamento, que está que está acondicionada em contêiner construído.

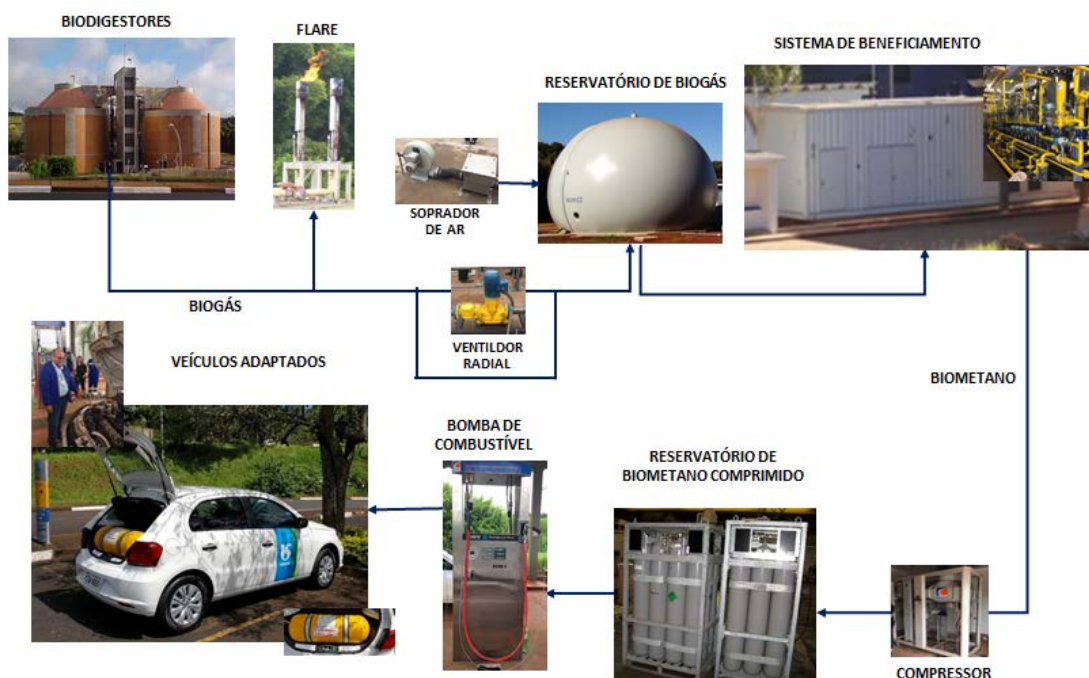


Figura 1: Sistema de Beneficiamento de Biogás Fonte: Adaptado de Waelkens and Sternad, 2011.

Na figura 2 apresenta-se as unidades instaladas dentro do contêiner que são: unidades para compressão, condicionamento e desumidificação do biogás, a coluna de carvão ativado para remoção de H_2S do biogás, os pré-filtros de carvão ativado para remoção de siloxanos e outros micropoluentes presentes no biogás, e as unidades de enriquecimento do metano, responsáveis pela remoção de dióxido de carbono e aumento do teor de metano no biogás, produzindo o biometano. Esta unidade é principal unidade e utiliza a tecnologia de PSA (em inglês Pressure Swing Adsorption), que trabalha dentro do princípio da adsorção por oscilação de pressão, caracterizada pela adsorção preferencial do CO_2 em relação ao CH_4 , em meio adsorvente, quando submetido à pressão.

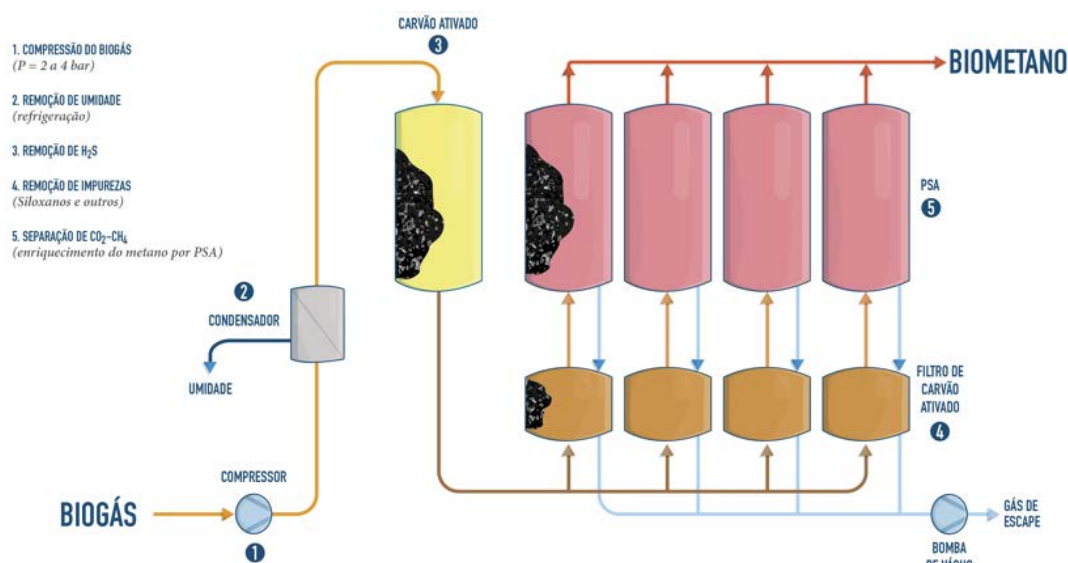


Figura 2 - Sistema de beneficiamento de biogás, instalado dentro do contêiner (adaptada de Schulte-Schulze Berndt, 2006).

No projeto, a unidade de PSA é composta de quatro colunas de adsorção preenchidas com meio adsorvente - peneiras moleculares de carbono (PMC), onde o CO_2 é adsorvido neste material, de forma que um gás muito rico em metano (em torno 97%) saia da unidade de PSA. As colunas de adsorção estão arranjadas em série

para garantir a produção contínua de metano e em condições normais de operação, cada coluna passa por um ciclo alternante de adsorção-regeneração, (adaptado de Waelkens and Sternad, 2011). O biometano produzido, ainda passa por um filtro, que serve como barreira biológica e segue para unidade de compressão, com capacidade máxima de processamento de 180 Nm³/h de biometano de uma pressão de 4 bar para 250 bar e é armazenado em 32 cilindros de 125 l, divididos em 4 subskids, com volume total de 4.000 litros, interligados entre si e depois para o posto de combustível ou dispenser para abastecimento dos veículos adaptados da frota de Franca, a uma pressão de trabalho de até 220 bar.

A planta foi concebida para operar em automático e assim, está limitada pela capacidade de armazenamento de biometano. Considerando o sistema operando em plena carga, tratando 120 Nm³/h, é esperado a produção de 72,0 Nm³/h de biometano e 56,0 Nm³/h de gás de escape ou gás fraco, com teor de metano inferior de a 3 %, conforme dados de projeto informados pelo fornecedor do sistema na da Tabela I.

Tabela I- Características da unidade de beneficiamento

Característica	Biometano	Gás Escape	Unidade
Temperatura	Ambiente	< 60	°C
Pressão	ca. 4,0	atmosférica	Bar
Quantidade	até 72,0	56,0 - 72,0	Nm ³ /h
CH ₄	>95	<5	Vol %
CO ₂ + O ₂ + N ₂	< 5	-----	Vol %
CO ₂	-----	>92	Vol %
N ₂	-----	<1	Vol %
O ₂	-----	<0,5	Vol %
H ₂ S	< 5	<5	mg/m ³
H ₂ O		<3	Vol %
Ponto de Orvalho atmosférico	< -60		°C
Poder Calorífico Superior (P. C. S)	10,5		kWh/Nm ³
Índice Wobbe	13,8		-
Densidade Relativa	0,59		-

Biometano como biocombustível – Controle de qualidade e aspectos regulatórios

Segundo a resolução ANP no 685/2017 é possível firmar um contrato com cliente dedicado e estabelecer com este as condições de fornecimento e controle de qualidade, desde que respeitadas as condições acordadas entre os limites de emissão de poluentes fixados pelo órgão ambiental, somente para consumidor industrial e para consumo próprio entregues por duto dedicado ou caminhão feixe.

No entanto, para injeção na rede da concessionária será necessário cumprir todas as exigências estabelecidas na resolução da ANP, que incluem monitoramentos estudo de análise de risco e produto certificado. A análise de risco deve considerar os resultados das caracterizações do biometano, do biogás e a inspeção das instalações onde é produzido o biometano, bem como verificação da existência das duplas barreiras técnicas exigidas para contaminantes específicos que podem causar danos à saúde ou meio ambiente.

Dentre as exigências da ANP de responsabilidade do produtor de biometano, neste caso, a Sabesp de Franca:

- Realizar análises em linha do teor de metano (CH₄), oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), gás sulfídrico (H₂S) e ponto de orvalho emitir diariamente certificado da qualidade com as características medidas em linha, indicando os limites da especificação, os métodos de análise empregados para comprovar que o produto atende o regulamento técnico ANP no 1/2017.
- Analisar teor de siloxanos e de halogenados por meio de ensaios laboratoriais, com frequência semanal se o valor da última determinação estiver entre 75% e 100% e mensal, se estiver entre 0% e 75%. A coleta e a análise laboratorial devem ser realizadas por laboratório independente.

Tabela II - Caracterização de biometano de acordo com exigências da ANP.

Caracterização do Biometano segundo Resolução ANP N. 685/2017						
Característica	Sampling Guidelines	Standard			Technology	Limite
CH4	ISO 10715	NBR14903	ASTM D 1945	ISO 6974	Cromatografia	90 % mol
O2	ISO 10715	NBR14903	ASTM D 1945	ISO 6974		0,8 % mol
CO2	ISO 10715	NBR14903	ASTM D 1945	ISO 6974		3,0 % mol
N2	ISO 10715	NBR14903	ASTM D 1945	ISO 6974		% mol
Inertes (CO2+ O2+ N2)	ISO 10715	NBR14903	ASTM D 1945	ISO 6974		10 % mol
Enxofre Total	ISO 10715	NBR15631; ASTM D 5504; ISO 6326-3 or -5 or 19739			Cromatografia	70mg/m³
H2S	ISO 10715	NBR15631; ASTM D 5504 or 6228; ISO 6326-3 or 19739			cromatografia	10 mg/m³
Ponto de orvalho de água a 1 atm, máx	ISO 10715	NBR15765; ASTM D 5454; ISO 6327 or 10101-2 or -3 or 11541(3)			sensor de umidade	(-45°C)
Siloxanos		NBR 16560 / 16561				0,3 mg/m³
Halogenados		NIOSH 7903 / ASTM 15713				Cl - 5mg/m³ F - 5mg/m³
Clorados		NIOSH 7903 / ASTM 1911				
Fluorados						
Odorante		NBR 15631 ISO 19739 NBR 15614			Cromatografia	Regulação estadual faixa (15-30 mg/m³)
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos		ISO 23874/ NBR 16338			cromatografia	somente quando houver adição de GLP (0°C)
Índice de Wobbe	NA	ISO 6976 / NBR 15213			característica físico-química	46.500 a 53.000 kJ/m3
PCS-Poder Calorífico Superior	kJ/m3 ou kWh/m3	ISO 6976 / ASTM 3588 / NBR 15213			característica físico-química	46.500 a 53.000 kJ/m3 ou 9,72 a 11,94 kWh/m3
Perigos Biológicos		abaixo da especificação (norma holandesa) adotada				Não especificado pela ANP 500 CFC/ m³ (Células Formadora de Colônias)
VOCs	cloro e flúor - quantificar halogêneos em separado para permitir soma de flúor e cloro, nas unidades da ANP	NBR 16562				
Metais Pesados (Antimônio, Arsênio, Bário, Cobalto, Cobre, Manganês, Níquel, Vanádio, Mercúrio)		Método: NIOSH 7303			Espectrometria de Emissão a Plasma	
Mercúrio		Método: NIOSH 6009			Espectrometria de Emissão Atômica	

A análise de risco considera os resultados das caracterizações do biometano e a inspeção das instalações onde é produzido o biometano, com verificação da eficiência de remoção dos compostos e comprovação da existência das duplas barreiras técnicas, exigidas para remoção de contaminantes específicos que podem causar danos à saúde ou meio ambiente. Esta dupla barreira, tem a função de que se alguma fase do processo falhar ou for ineficiente, o composto será removido pela outra, de forma que somente biometano que atenda à regulamentação, seja utilizado.

Assim, num primeiro momento foi realizada a amostragem de um ponto representativo das características e composição do biometano, de acordo com a Tabela II para confirmação de dados de composição, medidos em linha e utilização dos demais resultados como referência para as próximas campanhas de amostragem, em especial para validação de resultados de siloxanos e para elaboração do contrato de análise de risco.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fase de testes, ajustes e comissionamento do sistema de beneficiamento foi concluída no final de 2017 e iniciada a pré-operação, com inauguração em abril de 2018, com emissão de auto de vistoria do corpo de bombeiros (AVCB) e obtenção de licença de operação da CETESB.

Nas figura 3 e 4, a seguir, fotos com vista interna do contêiner. Na figura 3, na primeira foto, vista geral do contêiner e na segunda, detalhe do filtro de dessulfurização, pré-filtros pré-filtro com carvão ativado (unidade menor) e coluna de PSA. Na Figura 4, fotos ilustrando o sistema de remoção de sulfato e de compressão do biogás na primeira foto e sistema de remoção do condensado na segunda. Na sequência, a Figura 5, ilustra o trocador de calor, localizado antes da unidade de beneficiamento e o detalhe da chaminé pela qual é lançado do gás de escape, com concentração da ordem de 3% de metano para atmosfera.



Figura 3 – Ilustração do interior do contêiner, com pré-filtro e coluna de PSA, na figura da direita.



Figura 4- Sistema de remoção de H₂S e de pressurização e ao lado unidade de resfriamento.



Figura 5 - Trocador de calor e ao lado chaminé de saída do gás de escape (gás fraco).

Na figura 6, uma vista panorâmica do sistema e na figura 6, detalhes do posto de abastecimento e do abastecimento de parte da frota com biometano.



Figura 6 – Vista da área de implantação do Sistema de beneficiamento.

Na figura 7, a seguir, foto de um dos veículos da frota da Sabesp, adaptados para uso do biometano, que atualmente estão sendo abastecidos com GNV.



Figura 7- Vista do posto de abastecimento e do abastecimento da frota com biometano.

Operação e manutenção

O sistema de beneficiamento está programado para operar em automático, de segunda a sexta-feira, no horário comercial, em razão da demanda de biometano, que até o momento é para atendimento de parte da frota da Sabesp de Franca. Como as unidades dentro do contêiner estão programadas para trabalhar em automático, de acordo com software proprietário do fornecedor do sistema, foi desenvolvido um sistema de automação pela equipe da ETE, conforme figura 8. Este sistema de automação integra o contêiner com as demais unidades como: reservatório de biogás, sistema de compressão de biometano, sala de biogás, que registra vazão de biogás dos biodigestores e válvulas de comando para liberação de biogás para reservatório de biogás ou para queima no flare. Assim, o sistema de automação da ETE, em função do nível de biogás no reservatório de biogás, que pode variar de 20 a 90% e da pressão no sistema de armazenamento de biometano, que pode variar de 190-250 bar, determina quando há necessidade da unidade de beneficiamento iniciar a produção de biometano e envia um comando a esta unidade.



Embora as informações, relativas à operação na unidade de beneficiamento, estejam disponíveis no sistema de controle do contêiner e as do sistema de beneficiamento como um todo, que inicia na linha de biogás até o posto de abastecimento, estejam no supervisor da ETE, estas são registradas em planilhas de controle para melhor acompanhamento do processo e porque ainda não estão integrados em um único supervisor. Assim, são registrados diariamente dados de vazão e pressão do biogás de entrada no contêiner, percentual de biogás no reservatório de biogás, pressão nos cilindros de biometano, dados de operação dos principais equipamentos dentro do contêiner e do sistema de pressurização do biometano, bem como horas de operação dos principais instrumentos e equipamentos, para servir de referência para intervenções de manutenção e de futuras melhorias e adequações no sistema.

A seguir, são apresentados gráficos e telas do supervisor do contêiner. Na figura 9, gráfico de variação de vazão de biogás e pressão na entrada do contêiner, indicando a reprodução do ciclo da unidade de PSA, programado para permanecer um determinado tempo em cada coluna de adsorção, passando para seguinte após conclusão do ciclo. No gráfico observa-se que a vazão **oscila de ----**,



Na figura 10, são apresentadas duas telas extraídas do sistema supervisório, que mostram o ciclo de produção de biometano e a variação de pressão em cada uma das 4 colunas de PSA da planta, que trabalha entre dois níveis de pressão: um de alta pressão, onde ocorre a adsorção dos componentes não desejados (CO_2) e o de baixas pressões, onde ocorre a desorção (inversão da adsorção) dos componentes indesejados e a regeneração da peneira molecular de carbono com o vácuo. Assim, na primeira tela, a coluna 4 está na fase de pressurização (pressão de 0,22 bar); a coluna 3, na fase de absorção, tratando biogás (pressão de 5,08 bar); a coluna 2, na fase de desorção e redução de pressão (3,56 bar) e a coluna 1, a fase de acionamento da bomba de vácuo para regeneração da coluna (-0,20 bar). Na sequência, na tela 2, a coluna 4 inicia a fase de absorção (pressão de 5,17 bar), que é a produção do biometano; a coluna 3, que antes estava produzindo biometano, entra na fase de desorção dos componentes indesejados (1,47 bar); a coluna 2, na fase de vácuo (-0,53 bar) e a coluna 1, a fase de pressurização (1,46 bar).

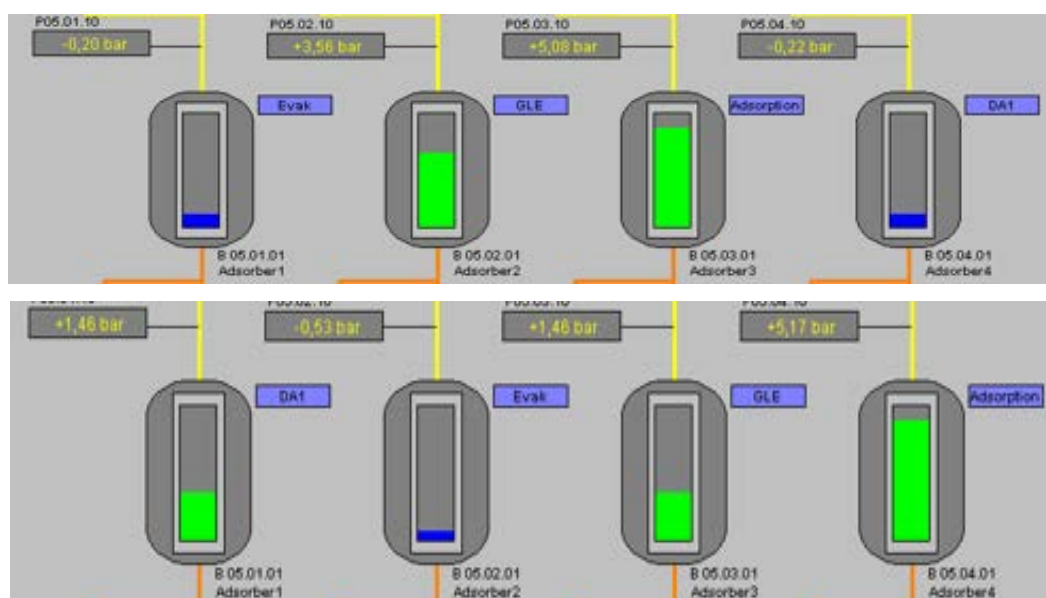


Figura 10 - Ilustração do Ciclo de PSA nas quatro colunas no período de produção de biometano.

Por fim, na figura 11, gráfico de pressão e de biometano na saída do contêiner, com vazão variando de 44 a 88 Nm^3/h , com média de 72 Nm^3/h e de pressão de 4 a 6 bar.

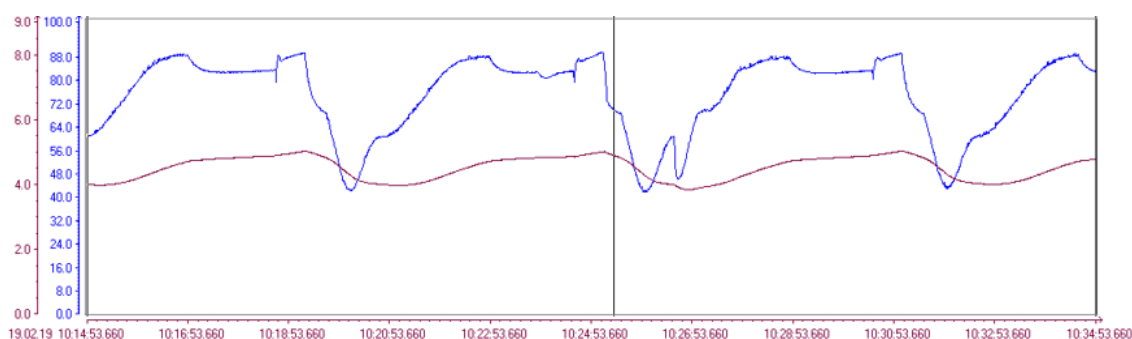


Figura 11 – Tela do supervisório com dados de variação de vazão e pressão na saída do contêiner.

Em termos de manutenção, são realizadas as verificações e intervenções que foram planejadas durante o comissionamento e partida do sistema com Fraunhofer/Sabesp e fornecedores, com especial atenção para aferição de sensores de detecção de gases.

Monitoramento atual do biogás e biometano e resultados preliminares

A seguir, são apresentados resultados dos monitoramentos em linha do biometano e do monitoramento por laboratório independente do biogás e biometano, segundo critérios de exigência da ANP.

O biometano produzido no contêiner é continuamente monitorada quanto aos principais parâmetros de composição CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2 e O_2 . A calibração da unidade de medição ocorre automaticamente a partir de três cilindros com concentrações conhecidas destes gases. A determinação da concentração de metano e dióxido de carbono baseia-se no princípio da absorção infravermelha não dispersiva (NDIR) e as medições de oxigênio, sulfeto de hidrogênio e hidrogênio são realizadas com sensores eletroquímicos (adaptado, Carbotech, 2017).

O ponto de orvalho do biometano é monitorado continuamente por meio de um transmissor de ponto de condensação eletroquímico após o PSA, que é instalado diretamente na linha de gás. Destes sensores, foram trocados os sensores de H_2S e CH_4 , em função da vida útil.

Os resultados dos monitoramentos em 2018, indicaram concentrações de CH_4 de 96 a 97,7%, atendendo o valor esperado pelo sistema, de acordo com a recomendação do fornecedor da unidade de beneficiamento ($\text{CH}_4 > 95\%$), assim como as concentrações de CO_2 da ordem de 1,2 % e de H_2S , zero. Os resultados em linha do ponto de orvalho são da ordem de -100°C , bem melhor que o limite de -60°C .

A seguir são apresentados gráficos com dados recentes de monitoramento em linha para CH_4 , CO_2 e H_2S . Na Figura 12, são apresentados valores de CH_4 que variaram de 97,21 a 98,26 %, com média de 98,21 e os de CO_2 de 1,47 a 2,64, com valor médio de 1,65%. Na figura 13, valores de CH_4 , CO_2 e H_2S .

Além dos monitoramentos em linha do biometano, são realizados monitoramentos do biogás e biometano por laboratório independente, segundo critérios de exigência da ANP. Os resultados de análises laboratoriais da composição do biometano, realizadas no final de 2018, confirmam os valores medidos em linha, com 96,84% de CH_4 , 1,28 % de CO_2 e zero de H_2S , além de 1,49% de N_2 , 0,39 % de O_2 e poder calorífico superior de $9,9648 \text{ kW/m}^3$, atendendo às exigências da ANP 685/2017, com relação à composição do biometano.

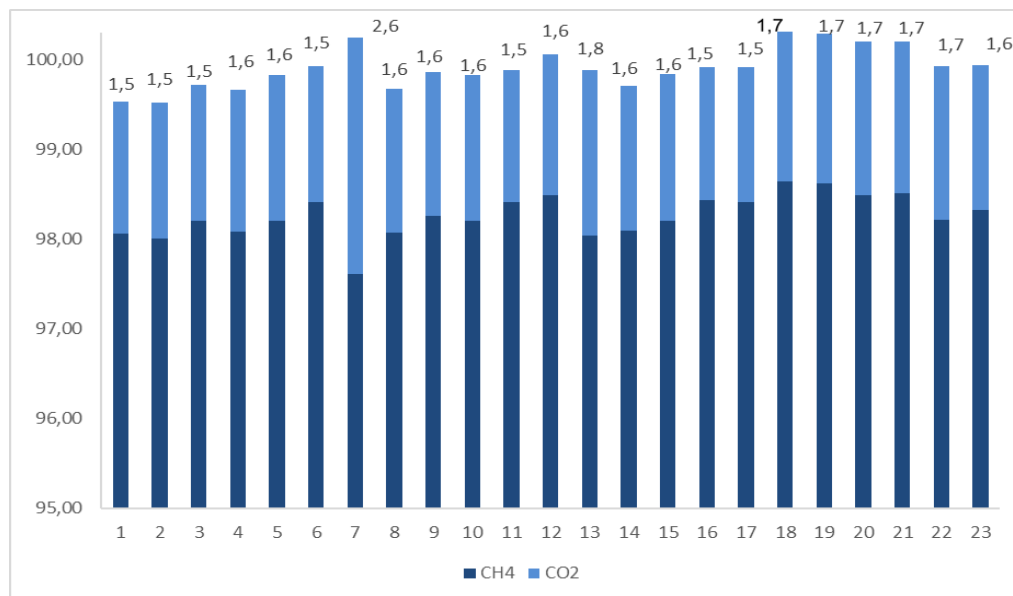


Figura 12- Concentrações de CH_4 e CO_2 no biometano- durante 2 horas de operação (19/03/2019).

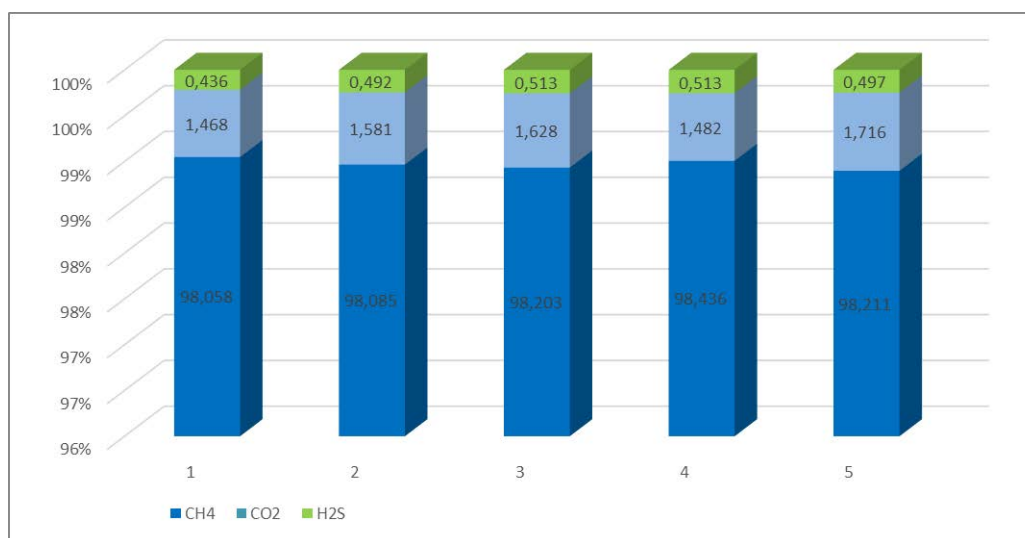


Figura 13 - Resultados de medidas em tempo real de CH₄, CO₂ e H₂S.

Dados de consumo de biometano e economia de combustível

A produção média atual de biogás em seus digestores anaeróbios de lodo está em torno de 3.000 Nm³/dia (média de 2.018), sendo que atualmente, utiliza-se em média a produção de um dia e meio a dois desta produção para geração de biometano, pois a unidade opera de 2 a 4 horas diárias para atender a frota atual de 18 veículos. Na figura 14, a seguir, são apresentados os consumos e número de abastecimentos, ao longo dos meses de abril 2018 a fevereiro de 2019, contabilizando o consumo de 19.422 m³ no período.

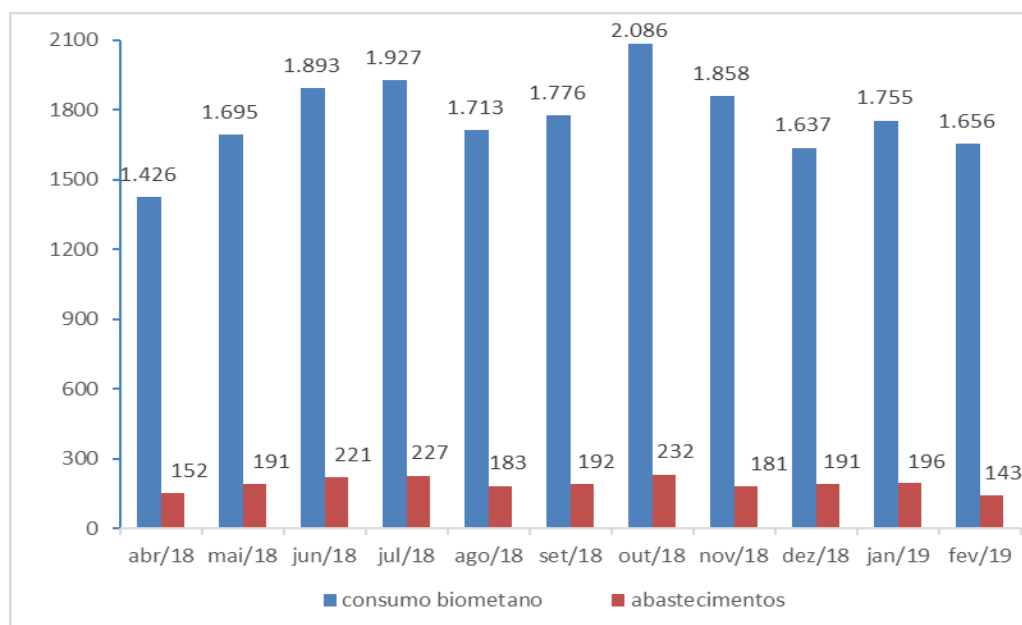


Figura 14- Dados consumo de biometano e abastecimentos no período de abril/2018na fevereiro/2019.

Na tabela III, a seguir são apresentados dados cumulativos de consumo de biometano, número de abastecimentos e respectivo desempenho, em termos de quilometragem percorrida, de cinco veículos da frota no período de maio a dezembro de 2018. Como o tanque tem capacidade de armazenar 15 m³ de biometano, comprova-se com base nestes resultados que o veículo tem autonomia de percorrer mais de 200 km, consumindo em média 6,15 m³ para percorrer 100 km, que é a forma mais comum utilizada em referências internacionais (5,6-6,6 m³/100 km) ou então 16,4 km/m³, para efeitos de comparação com outros combustíveis.

Tabela III - Desempenho de cinco veículos da frota de Franca usando biometano ao longo de 8 meses.

Veículos mais utilizados	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3	Veículo 4	Veículo 5	Média período
Biometano (m³)	1.559	1.248	2.259	924	986	1.498
Abastecimentos	214	143	301	99	115	189
m³/100Km	6,90	6,02	5,41	6,29	6,10	6,15
km/m³	14,5	16,6	18,5	15,9	16,4	16,4

Em termos de economia de combustível, com o uso de 19.422 m³ de biometano, longo dos meses de abril 2018 a fevereiro de 2019, deixaram de ser gastos o equivalente a 30.492 litros de álcool.

CONCLUSÕES

Atualmente, estão sendo realizados além dos monitoramentos em linha do biometano, monitoramentos do biogás e biometano por laboratório independente, segundo critérios de exigência da ANP e elaborado termo de referência para contratação do Estudo de análise de risco exigido pela ANP para obtenção do certificado de qualidade do produto biometano.

Os resultados de medição em tempo real, de CH₄, H₂S, CO₂, H₂, O₂, ponto de orvalho, controle de diferença de pressão na saída da coluna de remoção de H₂S e na saída do biometano, assim como controle de tempo de ciclo do PSA, comprovam que em termos de composição e funcionamento do sistema, a planta opera conforme projetado e atende aos requisitos de qualidade do regulamento vigente. Com relação às características específicas como siloxanos, VOCS e halogenados, metais, ainda estão sendo realizadas campanhas para confirmação dos limites e exigências da regulamentação (ANP 685/2017).

Com relação ao uso deste biometano, além dos veículos da frota cativa, o biometano de Franca, este foi utilizado para fins de demonstração, em ônibus e veículo de passeio, que já vem de fábrica com motor para uso deste gás. Em todas as aplicações, os resultados de desempenho (m³/km) foram satisfatórios.

Para consumo do excedente estão sendo avaliadas parcerias para fins de pesquisa para comprovação da eficiência do uso do biometano como combustível veicular, bem como avaliadas possibilidades de uso e/ou comercialização do biometano para uso em ônibus e/ou caminhão, indústrias locais, como cliente dedicado e injeção na rede da concessionária local de gás canalizado, bem como demandas de indústrias interessadas em usar o biometano em sua frota e a possibilidade de transporte via caminhão-feixe. Também está sendo avaliada a possibilidade de implantação de projeto de biometano na RMSP, tendo foco na mobilidade. Para fornecimento de biometano para indústrias, este poderia ser transportado via caminhão feixe ou dependendo da distância e viabilidade técnica, através de rede dedicada e a qualidade e condições de fornecimento estabelecida entre as partes. No entanto, a comercialização do biometano utilizando a rede da concessionária de gás canalizado ou fornecimento para postos de combustível, requer aprovação da ANP.

Os benefícios imediatos do projeto são o acesso à inovação tecnológica e capacitação, economia com recebimento dos equipamentos doados, assistência técnica especializada da equipe Fraunhofer e substituição do combustível por biometano, em parte da frota de Franca, e ganhos ambientais, com redução da emissão de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson, L. G. Effects of using renewable fuels on vehicle emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 47, July 2015, Pages 162-172, 2015.
2. Carbotech, (tradução Waelkens, Barbara). Manual de operação planta contêinerizada para beneficiamento de biogás, 2017.
3. EPA- 40 CFR Part 80. Renewable Fuel Pathways II Final Rule to Identify Additional Fuel Pathways under Renewable Fuel Standard Program - Code of Federal Regulations Citation, 2016.
4. FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V , 2016.

5. Kollamthod, S. et al. The role of natural gas and biomethane in the transport sector. Final Report Report for Transport and Environment (T&E), Issue Number 1, 2016.
6. NGVglobal. Current Natural Gas Vehicle Statistic. <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>, acessado em maio de 2018.
7. RESOLUÇÃO ANP Nº 685, DE 29.6.2017 - DOU 30.6.2017. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.
8. Schlute-Schulze Berndt, A. Green Gas/Biomethan in Deutschland: Status Quo 2006 der technischen Möglichkeiten und Kosten der Biogasaufbereitung. Green Gas Kongress, Berlin, 2006.
9. Waelkens, Barbara and Sternad, Werner. Memorial Descritivo do Sistema de